Desenho e Projeto de Tubulação Industrial Nível II

Módulo III

Aula 01

1. Introdução

Existem muitos tipos de bombas hidráulicas usadas na indústria, por exemplo: centrífugas, de deslocamento positivo, de engrenagens, de lóbulos, etc. Mas as bombas mais utilizadas são as bombas centrífugas e por isso vamos estudar este tipo de bomba com mais detalhes, pois são encontradas em quase todas as indústrias. Nesta apostila estudamos o uso das bombas centrífugas, sua manutenção e operação de modo resumido.

Podemos dizer que um sistema de bombeamento produzirá um trabalho livre de problemas e satisfatório com a condição de que o sistema seja projetado e a bomba seja instalada, operada e mantida de acordo com os cuidados indicados pelo seu fabricante e os manuais de operação e manutenção.

Mas apesar dos bons cuidados de manutenção e de operação as bombas podem ter muitos tipos de problemas tais como: instabilidade de manter as condições de operação, vazamentos nas gaxetas, problemas no sistema de resfriamento, desgaste das buchas, desgaste das gaxetas, vibrações, etc. Muitas vezes as causas de uma falha são as mesmas, mas os sintomas são diferentes. Devido a esta complexidade muitas vezes uma bomba é desmontada e enviada para manutenção e os mecânicos não acham nada errado. Por isso antes de desmontar uma bomba os sintomas dos defeitos devem ser analisados com detalhe e os operadores do processo devem também ser consultados para relatar possíveis problemas nos processos de operação do sistema.

Tanto o projetista do sistema quanto os engenheiros de processo devem desenvolver um conhecimento da mecânica das bombas, pois a solução dos problemas operacionais necessita a habilidade de observação do desempenho do processo no tempo e a capacidade de investigar profundamente a causa do problema e das medidas necessárias para evitar sua repetição no futuro.

Três tipos de problemas podem ser encontrados:

- Falhas de projeto
- Operação problemática
- Práticas de manutenção deficiente

Vamos desenvolver nosso estudo em cinco frentes:

- Definição dos temos técnicos
- Tipos de bombas
- Bombas centrífugas
- Estudo das curvas de desempenho
- Requerimentos básicos para uma operação livre de problemas
- Cálculo do sistema de bombeamento

2. Classificação das bombas

Uma bomba é um dos mais simples equipamentos de qualquer processo industrial.

As bombas podem ser classificadas de acordo com essa transformação de energia e o recurso usado para isso em:

- Bombas de deslocamento positivo
- Turbobombas
- Bombas centrífugas

As bombas de deslocamento positivo são as bombas de pistão ou êmbolo e de diafragma, e as rotativas de um rotor como as de palhetas ou mais de mais de um rotor como as de engrenagens. O movimento imprimido ao fluido neste tipo de bomba é de uma trajetória aproximadamente igual à do ponto de contato do órgão que produz a aceleração.

As turbobombas são também chamadas de bombas rotodinâmicas e se caracterizam por terem um rotor dotado de pás que exerce forças sobre o líquido que resultam na sua aceleração. A diferença entre esta aceleração e a imprimida nas bombas de deslocamento positivo ao fluido é que ela não possui a mesma direção e sentido do órgão gerador do movimento.

As bombas centrífugas são um equipamento relativamente simples e seu propósito é a conversão da energia de um motor ou turbina em velocidade ou energia cinética e depois em pressão ou potencial transmitindo essa energia para o líquido sendo bombeado.

3. Tipos de bombas

Existem diversos tipos de bombas e vemos na Figura 3.1 abaixo alguns tipos usados na indústria em geral.
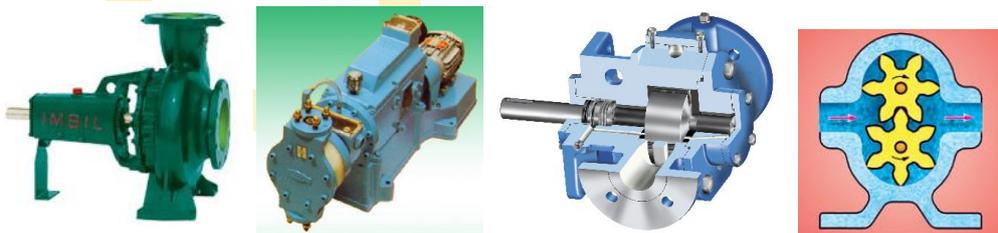
Figura 3.1

As bombas centrífugas são as mais utilizadas e vamos dedicar este estudo básico para este tipo de bomba.

Na apostila Bombas do Nível I- Módulo IV foram dadas descrições dos diversos tipos de bombas com uma descrição sucinta das mesmas.

4. Componentes dos sistemas de bombeamento e das bombas

Existem muitos tipos de sistemas para a instalação de bombas. Damos na Figura 4.1 um sistema simples.
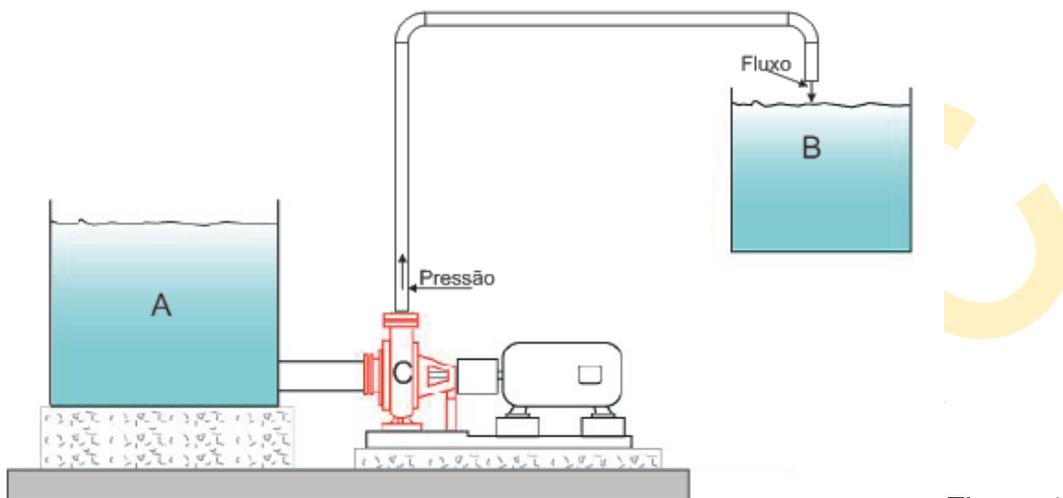
Figura 4.1

Na indústria existem muitas variantes desta instalação incluindo sistemas de controle de vazão e/ou pressão. Note que nesta figura não colocamos nenhuma válvula no sistema e isto não é usual, pois são colocadas válvulas no lado de sucção e de descarga para isolar a bomba para manutenção, por exemplo, ou para controle. Devemos notar que as bombas são um componente de um sistema de processo industrial, mas é um elemento muito importante.

A função da bomba é de prover a pressão necessária para mover o fluido através do sistema a uma vazão desejada.

5. Definição dos termos técnicos mais importantes

Um sistema de bombas tem três características importantes: pressão, atrito e fluxo.

Pressão é a força imprimida ao fluido que é responsável pelo movimento do fluido no sistema que é indicada em kPa ou quiloPascal em nosso sistema de medidas. O kPa é uma unidade absoluta de medida, mas muitas vezes é usado como unidade relativa, por isso verifique qual é a unidade usada para não causar erros em seus cálculos. No sistema inglês é dada em $psig$ ou libras por polegada quadrada manométricas. Usa-se o termo perda de pressão ou queda de pressão para indicar a diminuição de pressão no sistema devido ao atrito interno no fluido e deste com a parede do tubo.

Atrito é a força que atua no sentido de diminuir a velocidade do fluido.

Fluxo é a taxa de movimento do fluido no sistema que no nosso sistema de medidas é normalmente dado em litros por segundo que designaremos como lps.

O motor da bomba fornece a energia necessária para a bomba mover o fluido através do sistema e vencer o atrito e qualquer diferença de nível ou de pressão que estiver presente no sistema.

No sistema da Figura 4.1 acima o motor aciona a bomba para que ela movimente o fluido do tanque A para o tanque B e sai da boca co tubo aberto a velocidade de saída do fluido exibe uma energia que é fornecida pelo motor e transmitida pelo rotor da bomba ao líquido.

6. Atrito

O atrito está sempre presente em qualquer sistema mesmo em fluido como a água e é a força que resiste ao movimento. Na Figura 6.1 você vê três tipos de sistemas e o atrito indicado pela flecha F. Note que o atrito tem um sentido inverso ao do movimento, ou seja, ele resiste ao movimento.
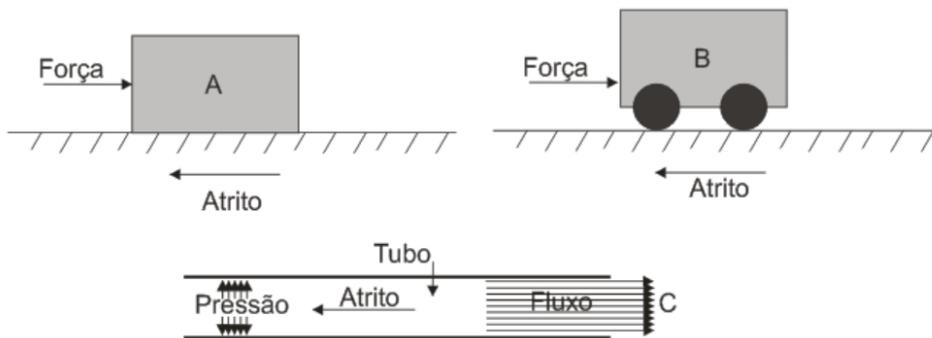
Figura 6.1

Quando um corpo se move sobre uma superfície dura existe um atrito entre o corpo e a superfície sobre a qual ele se move como em A na figura. Em B também existe atrito, porém com a adição de rodas no corpo em movimento o atrito diminui assim como a força para movimentar o corpo. Em C temos um tubo e o fluido passando por ele. Devido ao movimento do fluido e à pressão do mesmo no tubo existe uma perda de pressão devido ao atrito. Quanto mais longa a tubulação maior será a perda pelo atrito.

No movimento dos fluidos na tubulação temos dentro de um tubo temos dois tipos de atrito como vemos na Figura 6.2. Como a velocidade do fluido é diferente dentro do tubo sendo menor junto à parede do tubo devido ao atrito do fluido contra a parede e maior no centro, as camadas têm velocidades diferentes e ocorre um atrito entre essas camadas e como o fluido tem uma velocidade junto à parede do tubo que, logicamente, permanece parada, existe aí também um atrito entre o fluido e a parede que é tanto maior quanto mais rugosa for a parede to tubo.
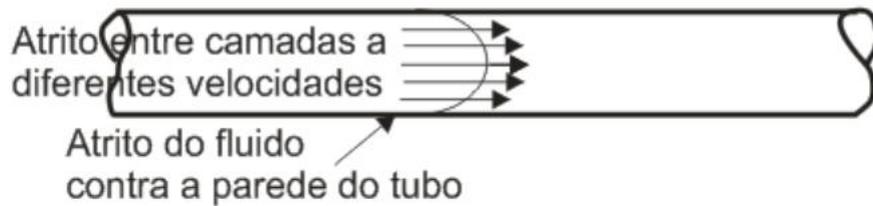
Figura 6.2

Então podemos dizer que o atrito depende:

- Da velocidade média do fluido dentro do tubo
- Da viscosidade do fluido
- Da rugosidade da parede do tubo

Vemos que o aumento de qualquer um destes parâmetros aumentará o atrito.

A quantidade de energia necessária para vencer a perda total por atrito no sistema para o fluxo de fluido requerido no sistema depende da grandeza do fluxo. Nos sistemas industriais faz-se o dimensionamento das tubulações para que a perda de energia por atrito seja relativamente pequena não mais que ao redor de 25%. Este número é somente indicativo e o projetista deve levar em consideração o investimento total no sistema para o dimensionamento final do sistema. Lembre-se de que para um determinado fluxo a perda por atrito será tanto maior quanto menor for o diâmetro da tubulação. Por outro lado uma tubulação maior exige maior investimento devido ao mais alto custo dos tubos, acessórios e válvulas.

Devemos chamar a atenção para o fato de que existem outras fontes de atrito, tais como curvas, cotovelos, tês, válvulas, etc. que são instalados no sistema. Por exemplo na Figura 6.3 vemos um tê e um cotovelo e as linhas do fluido que escorre no tubo.
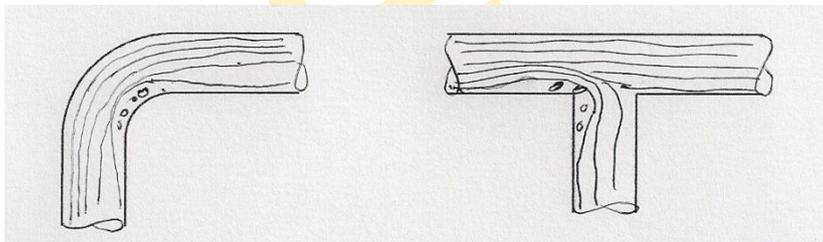
Figura 6.3

Você nota pelas linhas que no caso do cotovelo as linhas do fluido ao passar pela curva se afastam da parede provocando um vácuo e um torvelinho e o mesmo acontece no caso do tê. Este efeito aumenta o consumo de energia, pois os vórtices aumentam o consumo de energia. Note que a perda de pressão nesses pontos é pequena, mas um sistema de tubulação pode ter muitas conexões e a soma pode se tornar grande.

Citamos acima curva e cotovelo. A diferença entre um e outro é o raio do centro da conexão. O cotovelo tem um raio menor e a curva um raio maior sendo que a perda de pressão na curva é menor do que no cotovelo e por isso deve-se sempre que possível usar conexões de raio mais longo.

7. Energia e altura nos sistemas de bombas

A energia e a altura são dois termos muito utilizados nos sistemas de bombas.

O termo energia é usado para descrever o movimento dos líquidos nos sistemas por ser mais fácil do que outros métodos. Existem quatro formas de energia nos sistemas de bombas: pressão, elevação, atrito e velocidade.

Neste ponto vamos utilizar nossos conhecimentos de mecânica dos liquidos que estudamos anteriormente.

A pressão é produzida no fundo de um tanque devido a que o liquido enche o tanque até certa altura e o peso do liquido exerce uma força que é distribuida sobre a superfície do fundo e lateral do tanque que toma o nome de pressão.Temos dois tipos de pressão: estática e dinâmica e vemos isto na Figura 7.1.
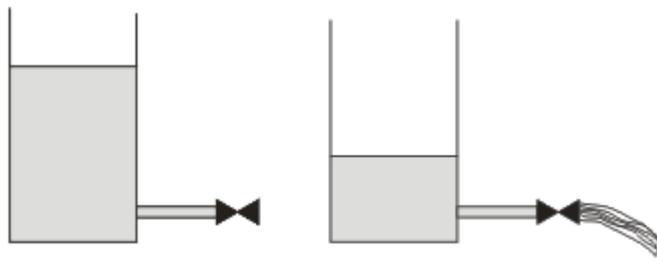
Figura 7.1

No tanque à esquerda temos um caso de pressão estática pois o líquido está parado dentro do tanque e o líquido exerce uma pressão sobre o fundo do tanque e as paredes laterais do tanque e temos uma pressão estática.

Na figura da esquerda a válvula está aberta e o fluido sai do tanque a uma velocidade que depende da altura do líquido no tanque pois ele está aberto para a atmosfera. Esta transformação da pressão, ou energia potencial, em velocidade toma o nome de energia cinética e se deve à energia da elevação do nível do líquido que ao escorrer pela tubulação pode ser usado para acionar uma turbina hidráulica como nas centrais para produzir eletricidade.

Temos então três tipos de energia interagindo: de altura ou energia potencia, de velocidade ou energia cinética e devida à pressão.

A energia gasta pelo atrito devido ao movimento do líquido no tubo e conexões é perdida na forma de calor para o meio ambiente.

A energia de velocidade ou energia cinética é a que move os objetos. Um jogador de futebol ao chutar a bola transfere a energia do chute em velocidade da bola e quando abrimos uma torneira a água ao sair da torneira transforma a energia estática da pressão em energía cinética da água ao escorrer pela torneira.

As três formas de energia: elevação, pressão e velocidade interagem uma com as outras nos líquidos. No caso dos corpos sólidos isto não acontece pois não existe energia de pressão e o corpo não escorre para fora como os líquidos e não existe então uma modificação de pressão.

Conforme abrimos a válvula do lado do tanque o fluido sai do tanque e uma certa velocidade e a pressão estática se transforma em energia cinética que é o movimento tomado pela água ao sair pelo tubo.

A energia do motor transmitida para a bomba deve fornecer a energia de atrito mais a altura que o líquido deve alcançar que é a energia potencial , então:

Energia da bomba=energia de atrito+energia potencial

Vemos isto na Figura 7.2.
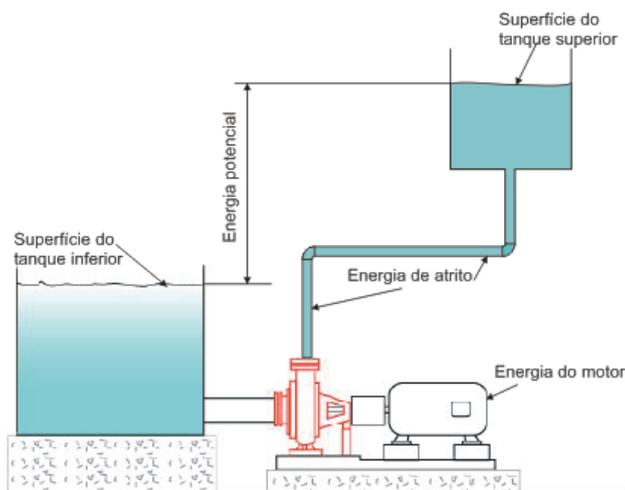
Figura 7.2

Você pode estar imaginando onde está a energia cinética em tudo isto. Ora se o fluido sair do sistema a certa velocidade você poderia considerar isto porém neste sistema isto não necessita ser considerado pois todo o trabalho executado pelo motor da bomba se transforma em energia potencial. Nesta figura temos somente que considerar a diferença de energia entre a superfície do tanque inferior e o tanque superior devido à ação da bomba.

Agora vamos ver a questão da altura da coluna de líquido entre a superfície do fluido no tanque inferior e a superfície do fluido no tanque superior. Ela representa realmente o uso da energia da bomba e o uso desta energia pode ser calculado conhecendo o peso do fluido transportado.

Vamos chamar a altura de h, o peso do fluido por P e a energia de E_e, então a energia gasta pode ser calculada pela equação:

$E_e=Ph$

A energia de atrito E_a gasta pelo atrito do fluido com a parede, é a força do atrito F_a pela distância do curso feito pelo fluido que é o comprimento da tubulação que vamos chamar de d e temos então a equação:

$E_a=F_ad$

A altura é definida como a energia dividida pelo peso ou quantidade de energia usada pala deslocar o objeto dividido por seu peso. Para a energia potencial ou energia de elevação, a altura de elevação h é dada por:

$h=Ph/P=h$

Para a energia de atrito, a altura de atrito h_a é a energia de atrito $E_a=F_ad$, dividida pelo peso do líquido P:

$$h_a=E_a/P=F_ad/P$$

A força de atrito F_a está dada em *kg* e o peso também está nessa unidade e a unidade de atrito está na mesma unidade usada para a distância *d*.

Se unirmos um tubo ao lado do tubo de descarga da bomba o líquido subirá até uma altura no tubo que é exatamente a mesma da pressão fornecida pela bomba sendo uma parte desta pressão a devida à altura de elevação do líquido e a outra devido ao atrito. Isto você vê na Figura 7.3 abaixo.
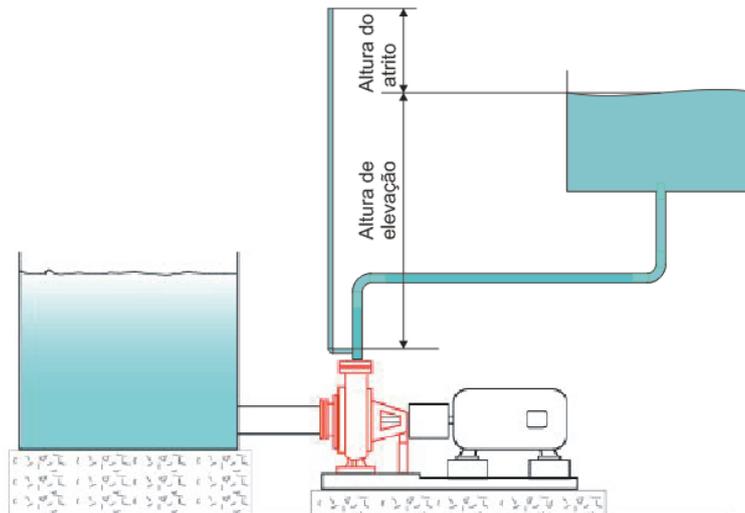
Figura 7.3

8. Altura estática

Altura de elevação é a altura que o líquido pode atingir com a energia ganha pelo trabalho da bomba que eleva esse líquido. Ela é expressa por metros de coluna de líquido e devido a esta altura e peso do líquido se produz uma pressão sobre o ponto mais baixo da coluna de líquido.

A pressão no fundo de um tanque é independente da forma do tanque e depende somente da altura do líquido e de seu peso específico. Vimos isto na apostila Mecânica dos líquidos no capítulo 2.

Quando uma bomba é usada para movimentar um líquido de um nível mais baixo para outro mais alto, a altura do líquido dentro do tanque é chamada de altura estática e ela produz uma pressão sobre a bomba que, por seu lado, deve produzir um trabalho para elevar o líquido a altura total no tanque que é a altura estática de elevação da bomba, veja a Figura 8.1. Veremos mais sobre a altura de sucção mais abaixo no capítulo 11 onde ela recebe o nome de NPSH e é um ponto muito importante no dimensionamento do sistema de uma bomba.
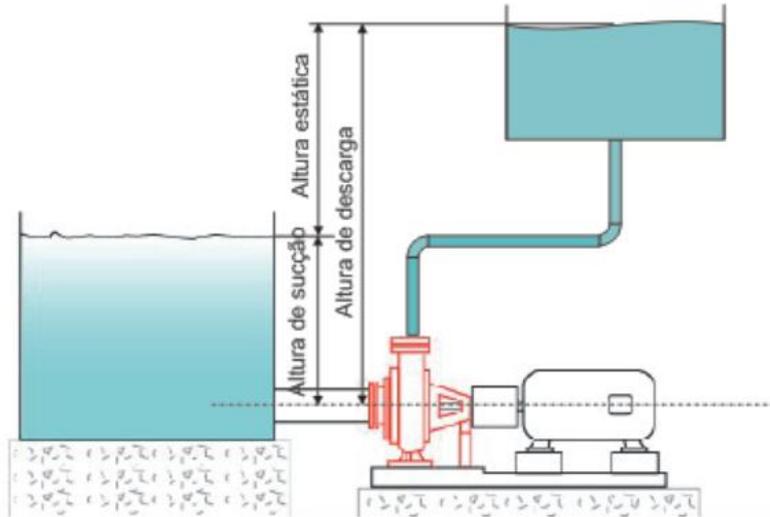
Figura 8.1

As instalações de bomba são usualmente usadas para elevar um líquido de um ponto mais baixo para outro mais alto ou para um tanque sob pressão, e esta pressão pode ser apresentada como uma altura de coluna do líquido. Assim na figura acima h_s é a altura do líquido no tanque mais baixo, h_e é a altura de elevação do líquido (ou pressão de um tanque para o qual o líquido é bombeado) e h_d a altura de descarga da bomba. Vemos então que podemos escrever a seguinte equação: $h_d = h_s + h_e$.

Note que indicamos as alturas com relação ao centro do eixo da bomba que é a forma convencional.

Algumas vezes o tubo de descarga da bomba é submerso no líquido como vemos na Figura 8.2.
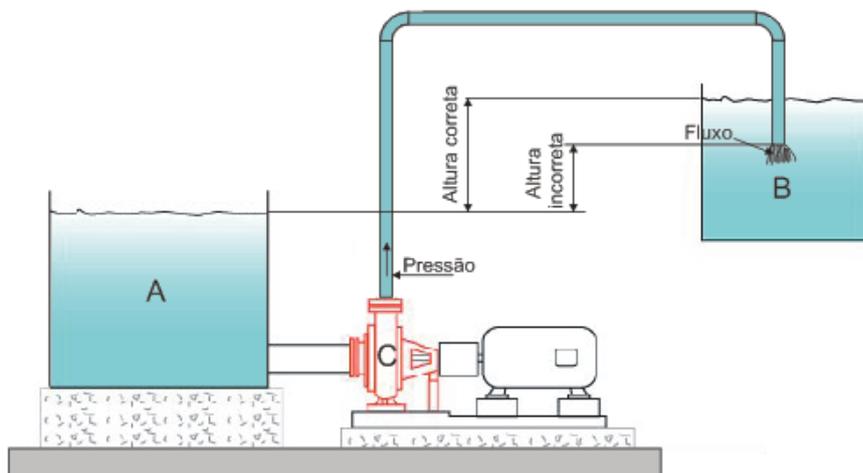
Figura 8.2

Note que neste caso devemos considerar a altura estática como a diferença entre o nível do tanque superior e o nível do tanque inferior e não em referência à saída do tubo. Note também que no caso de descargas submersas como a indicada é prudente instalar uma válvula de retenção na descarga da bomba para evitar que

venha a se estabelecer um fluxo reverso, isto é, um fluxo do tanque superior para o inferior, ou seja, para evitar o efeito de sifão.

9. Taxa de fluxo e diferença da altura estática

Vemos na Figura 9.1 uma série de saídas do fluxo produzido pela bomba.
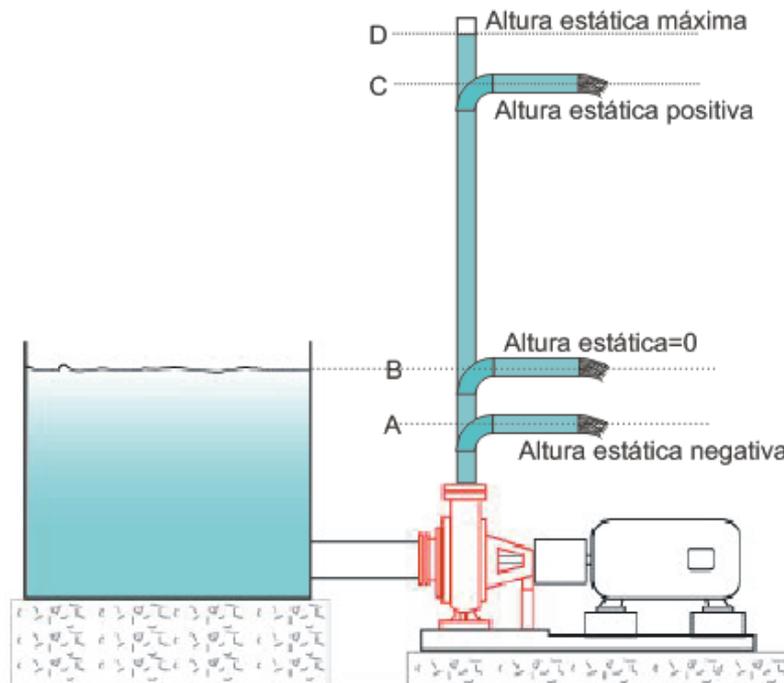
Figura 9.1

Na hipótese A a altura estática é negativa, pois o nível A é mais baixo que o nível do líquido no tanque ou N_a-N_b. Neste caso a bomba não faz nenhum trabalho e pode estar desligada e o fluido pode sair pela descarga da bomba mesmo assim.

Na hipótese B a altura estática é zero, pois o nível do líquido no tanque é o mesmo da saída da bomba. Neste caso o líquido não sai pelo tubo, pois a diferença de altura é zero.

Já na hipótese C a altura estática é positiva ou N_c-N_b é positivo e com a bomba ligada o líquido fluirá pela boca do tubo.

Para a hipótese D que chamamos de altura estática máxima não há saída de líquido do tubo, pois a altura de bombeamento é mais alta que a pressão máxima que a bomba pode desenvolver. Vamos agora discutir um pouco este assunto para compreendermos melhor o que está acontecendo.

No primeiro caso a descarga da bomba está mais baixa do que a superfície do líquido no tanque e a energia da bomba não é necessária para que o líquido escoe pelo tubo. Como analogia podemos dizer que é como um carro que desce por uma ladeira, o que ele pode fazer com o motor desligado (cuidado com o freio!). Caso o fluxo seja muito grande neste caso, pode-se usar uma válvula para regular o fluxo.

No segundo caso a altura estática é zero, a bomba também não é necessária e o fluxo é dependente somente do atrito. Este sistema se parece com um carro rodando em uma estrada horizontal: o acelerador é usado somente para manter a velocidade devido ao atrito dos pneus com a estrada.

No terceiro caso temos uma altura estática positiva. Isto significa que para haver fluxo na tubulação devemos a bomba deve estar funcionando para vencer a altura e o atrito na tubulação e temos então uma pressão positiva na saída da bomba. Uma analogia seria um carro subindo uma ladeira: o motor deve estar fornecendo a energia necessária para o carro subir a ladeira.

No último caso a bomba está funcionando em sua pressão máxima, mas não consegue vencer a altura do líquido para ele sair pela boca do tubo. Neste caso a altura do líquido provoca uma pressão maior do que a bomba pode fornecer e note que como não há fluxo pela tubulação o atrito é zero neste caso. A analogia pode ser um carro cujo motor está fornecendo sua potência máxima e ele não pode subir a ladeira e fica patinando.

Quando especificamos uma bomba para uma determinada aplicação nós não especificamos sua pressão máxima, pois isto ocorre com um fluxo zero, então nós especificamos uma pressão total que deve ocorrer com o fluxo desejado e esta pressão depende da altura, ou pressão, que o líquido deve atingir no processo mais as perdas por atrito na tubulação.

Existem muitos modelos e tamanhos de bombas que fornecem uma família de curvas que permitem escolher a bomba dentro das características necessárias como veremos adiante.

Um último ponto a considerar é o atrito na tubulação. Vemos na Figura 9.2 uma bomba e três tubos.
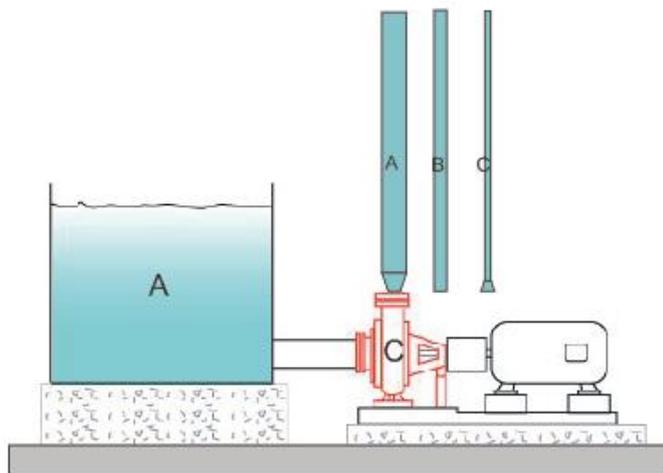
Figura 9.2

Devemos notar que quanto maior a dimensão da tubulação para um mesmo fluxo de líquido, menor é o atrito na tubulação. Vamos ver isto em mais detalhe quando estudarmos o módulo V: Projetos de tubulações.

O tubo A tem um diâmetro maior do que o tubo de saída da bomba tendo sido instalada uma conexão para aumentar o diâmetro do tubo e dessa forma diminuir a velocidade do fluxo. No tubo B conservamos o mesmo diâmetro da saída da bomba

o que causa um aumento da velocidade para o mesmo fluxo e no tubo C colocamos uma redução o que aumenta ainda mais a velocidade do fluido. Dessa forma a perda de pressão pelo atrito aumenta de A para C e temos então, como consequência que o fluxo diminui ou a pressão na bomba deve aumentar pra um mesmo fluxo. O comprimento da tubulação também influi nas perdas: quanto mais longa a tubulação maior é a perda de carga, pois a perda pelo atrito aumenta devido ao maior comprimento do tubo.

10. Construção das bombas

Neste estudo vamos somente tratar das bombas centrífugas que são as mais usadas na indústria. Na Figura 10.1 vemos uma bomba centrífuga e os seus principais componentes indicados.
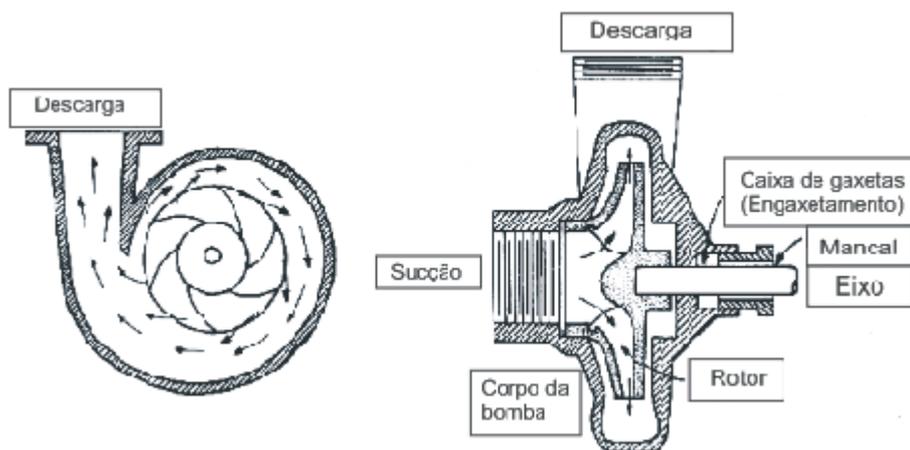
Figura 10.1

O fluido a ser bombeado entra pela sucção da bomba e vira 90°para o plano do rotor a enche o volume entre cada paleta do rotor. As setas na figura mostram a direção do fluxo.

Este equipamento tem o propósito de produzir um deslocamento de um líquido por meio do aumento de sua energia cinética. Na apostila Mecânica do módulo II do curso você aprendeu sobre a energia cinética no capítulo 3.8 e se quiser poderá voltar ali para "refrescar a memória". As partículas de líquido são deslocadas pelo rotor da bomba e saem do rotor a alta velocidade e vão então para a parte interna do corpo da bomba ou voluta da bomba, onde elas são desaceleradas diminuindo sua energia cinética que se transforma em pressão. Esta perda de energia cinética é diferente da perda provocada pelo atrito que produz uma perda de energia, pois ela é transformada em pressão. Esta velocidade é diminuída dentro da voluta da bomba e sai pela saída da bomba indo para a tubulação de recalque à mesma velocidade da saída, sendo esta velocidade modificada somente no caso que o diâmetro da tubulação sofra alguma modificação como vimos no capítulo 9.

Então vemos que a pressão do líquido é produzida pelas pás ou aletas do rotor que gira a uma velocidade constante. A pressão produzida depende das

condições do sistema tais como: viscosidade do líquido, dimensão do tubo, diferença de altura, velocidade da bomba, etc. Se for introduzida qualquer modificação no sistema como, por exemplo, a abertura ou fechamento de uma válvula a pressão será modificada porque o rotor continua a girar à mesma velocidade.

Essa observação é importante, pois quando a bomba funciona a uma velocidade constante ela produz uma pressão constante que pode ser modificada com uma modificação da velocidade da bomba. Este é o princípio muito usado hoje para regular a pressão das bombas por meio de motores com velocidade controlada por meio da frequência da rede. Veremos algo mais sobre isto abaixo no capítulo 13.

A pressão de uma bomba é mostrada por meio de uma curva chamada de curva característica que é escolhida de uma família de curvas como vemos na Figura 10.2. Para isto o rotor da bomba deve ter um diâmetro determinado por essas curvas no cruzamento da altura ou pressão e volume.
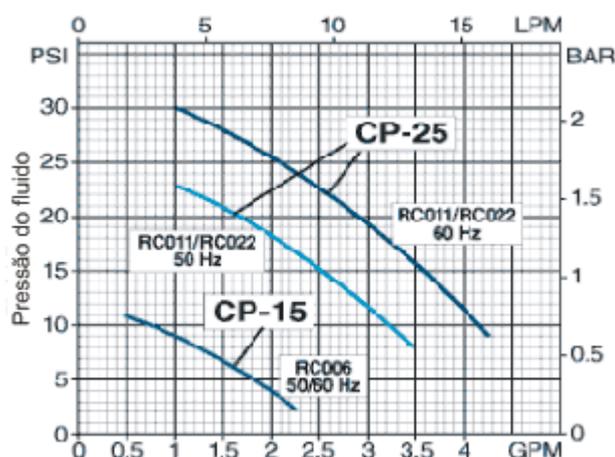
Figura 10.2

Nessa figura vemos curvas que indicam a variação da pressão na vertical e a variação de pressão na horizontal. Note que este comportamento é particular das bombas centrífugas, pois as bombas de pistão, por exemplo, que são bombas de fluxo positivo, têm uma vazão constante podendo até estourar a tubulação ou outro ponto fraco do sistema. Por essa razão estas bombas devem ter válvulas internas de alívio para aliviar a pressão e proteger a bomba e o sistema ou então devem ser instaladas válvulas de alívio na tubulação para evitar desastres.

11. NPSH

Esta é uma abreviação de Net Positive Suction Head (Altura de sucção positiva líquida ou real). Ela é a altura da sucção em metros no nosso sistema de medidas determinada na entrada de sucção da bomba menos a pressão de vapor do líquido na mesma unidade. Dito de outra forma ela é uma análise das condições da energia no lado de sucção da bomba para determinar se o líquido pode vaporizar quando estiver na pressão mínima da bomba.

Já aprendemos na apostila sobre Termologia das modificações que os líquidos e gases podem sofrer com as modificações de pressão e temperatura. Esta pressão que chamamos de pressão de vapor é uma característica individual de um

fluido e aumenta com a temperatura. Quando a pressão de vapor dentro do fluido atinge a pressão do meio circulante o fluido começa a se vaporizar ou ferver e esta temperatura diminuirá conforme a pressão do meio diminui. Você deve se lembrar que o líquido aumenta seu volume quando ele se vaporiza.

Nas bombas para que elas funcionem corretamente é necessário que o fluido se conserve na forma líquida na sua sucção e o NPSH é uma medida simples para impedir a vaporização no ponto de menor pressão da bomba. O NPSH é uma função do projeto da bomba.

Conforme o líquido passar pela sucção da bomba para o olho ou centro do rotor a sua velocidade aumenta e sua pressão diminui e existem nesse ponto também perdas de pressão devidas a turbulências e choques conforme o líquido chega no rotor. A força centrífuga impelida pelas aletas do rotor aumenta ainda mais a velocidade do líquido e diminui sua pressão.

O NPSH é a pressão necessária ou altura positiva necessária na sucção da bomba para vencer esta queda de pressão na sucção da bomba e manter o líquido acima de sua pressão de vaporização. O NPSH requerido varia com a velocidade e capacidade da bomba e o fabricante informa esse dado por meio de curvas de suas bombas.

Como vemos o HPSH é uma característica muito importante e vamos agora ver alguns detalhes sobre ele. Temos na Figura 11.1 quatro possibilidades de arranjo da tubulação de sucção de uma bomba. Nessa figura temos as seguintes possibilidades:

Figura 11.1a: A sucção é negativa e está aberta para a atmosfera sendo a altura negativa Ls.

Figura 11.1b: A sucção é positiva e está aberta para a atmosfera sendo a pressão positiva de Lp

Figura 11.1c: A sucção está pressurizada ou fechada e é negativa

Figura 11.1d: A sucção está pressurizada ou fechada e é positiva.

Temos as seguintes grandezas:

Ln= Pressão máxima negativa em metros

Lp= Pressão máxima positiva em metros

Pa= Perda por atrito na linha

Pv= Pressão de vapor do líquido

Pb= Pressão barométrica no local

Para o cálculo do NPSH usamos a seguinte equação:

$$NPSH = P_b - P_v \mp P_m + H_v$$
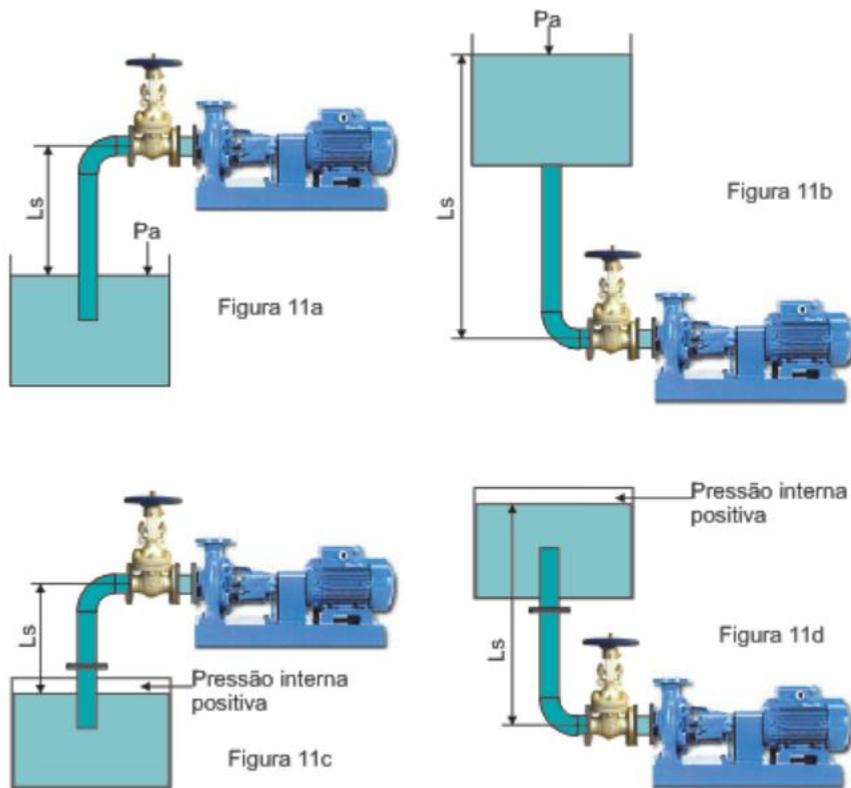
Figura 11.1

A cavitação é um fenômeno que aparece em uma bomba quando o NPSH disponível da bomba é insuficiente. Isto acontece quando a pressão do líquido na sucção desce abaixo da sua pressão de vapor e o líquido começa a “ferver” formando-se bolhas de vapor e bolsas na massa de líquido no olho da bomba. Com a movimentação dessas bolhas no rotor ela atinge pontos no rotor onde a pressão fica mais alta e essas bolhas “estouram” ou colapsam e isto causa erosão na parede do rotor. Este colapso das bolhas pode até ser ouvido causando um ruído como se estivesse sendo transportada areia no encanamento sendo esta uma forma simples de reconhecer a cavitação.

Além do efeito de erosão do rotor a capacidade da bomba é reduzida devido à presença desse vapor e a altura de descarga torna-se instável e o consumo de energia fica errático. A vibração provocada pela cavitação provoca também problemas nos mancais da bomba causando falhas nos rolamentos.

A forma de se evitar todos esses problemas é de se assegurar que o NPSH disponível seja maior do que o NPSH requerido pela bomba conforme indicado nos manuais dos fabricantes, e um dos pontos a observar é a perda por atrito na sucção da bomba. Note que se sugere ter uma margem no cálculo do NPSH de 20 a 25% maior do que o requerido, por questão de segurança.

Para finalizar este estudo do NPSH vamos ver dois conceitos: NPHSA e NPSHR.

O NPSHR é uma função do projeto da bomba. O NPSH requerido é a altura em metros absolutos na sucção da bomba para vencer as perdas na sucção e manter o líquido acima de sua pressão de vapor. Ele varia com a velocidade e capacidade da bomba e o fornecedor informa seu valor nas curvas das bombas.

O NPSHA é o NPSH disponível sendo função do sistema do processo. Ele é o excesso de pressão do líquido em metros absolutos acima da pressão de vapor do líquido na sucção da bomba.

12. Características de uma bomba

Como temos visto uma bomba é um equipamento que deve produzir a pressão suficiente para vencer a pressão hidrostática e do atrito do processo ao movimentar o líquido. Estes componentes da pressão têm características únicas do processo sendo executado e podem ser descritas por meio de uma família de curvas que relacionam a pressão e o fluxo.

As características de um sistema de bombeamento são representadas por curvas que chamamos de curva do sistema como vemos na Figura 12.1.
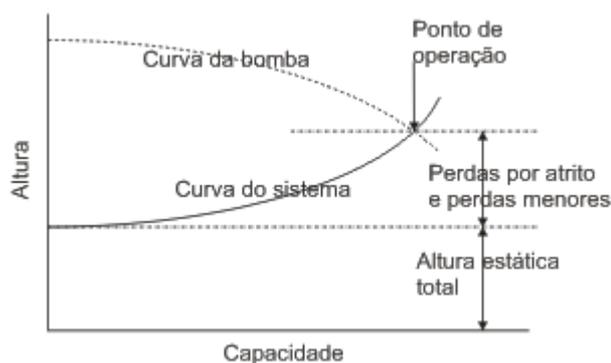
Figura 12.1

Vemos nessa figura duas curvas: a curva de bomba e a curva do sistema. Note que a curva da bomba é uma curva única para este sistema que é obtida da família de curvas da bomba fornecida pelo fabricante da bomba semelhante às curvas da Figura 10.2 que vimos acima. O ponto de operação é o ponto de cruzamento dessas duas curvas como mostrado. Caso o processo seja controlado por meio de uma válvula de controle ela provocará uma perda de pressão que deve ser somada à curva do sistema. No passado os motores usados eram de velocidade constante e a regulagem do sistema era feita por válvulas de controle que provocam uma perda de pressão que, por sua vez, provoca uma perda de eficiência do sistema. Modernamente o uso dos motores de frequência variável é muito frequente, pois é comum o uso dos sistemas PWM (modulação por largura do pulso) nas aplicações de bombas.

13. Potencial de economia

A economia resultante do uso dos motores com velocidade variável produz uma economia de energia que depende do tipo de curva do sistema. Estas curvas são normalmente parabólicas, mas diferem em sua inclinação que é uma função da relação da altura estática e perda de pressão por atrito do processo. A curva é mais plana quando a maior parte da energia é gasta com a altura estática e mais inclinada quando a fricção é preponderante, por isso, nos sistemas com maior atrito a economia é maior.

14. Bombas em paralelo

Vimos no capítulo 11 a importância do NPSH na operação das bombas e o problema da cavitação. Vimos também dois conceitos: o NPSHA e o NPSHR, aquele uma função do sistema e este uma função do projeto da bomba e a diferença entre os dois nos dá a margem entre a altura da sucção e a pressão de vapor em um fluxo particular.

Quando estamos bombeando líquidos é importante ter em mente de conservar a pressão do lado de sucção acima da pressão de vapor como já vimos acima e, como exemplo, se estivermos bombeando água a 15°C ao nível do mar e o rotor estiver a 1m abaixo da superfície da água o NPSHA é de 9,1m. Note que esta pressão aumenta se a pressão barométrica aumentar e ela diminui se a pressão de vapor diminuir, o atrito aumentar ou houver um aumento da perda de pressão na entrada.

Lembre-se que o NPSHR deve ser observado de acordo com a construção da bomba e é informado pelo fabricante da bomba.

A cavitação se relaciona com a lei de Bernouille que descreve o perfil de pressão de um líquido que se move por uma restrição onde a velocidade do líquido aumenta até sua velocidade máxima onde a pressão se torna mínima e depois desse ponto a pressão estática se recupera.

Na Figura 14.1 vemos uma curva característica onde está mostrada a curva NPSHR da bomba de um único rotor.
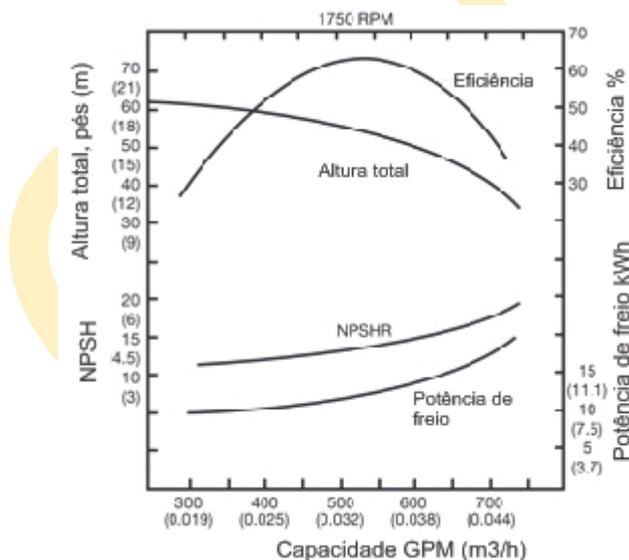
FIGURA 14.1

15. Instalação de bombas múltiplas

Quando a faixa de demanda do fluxo excede a faixa de regulagem de uma bomba, são usadas duas ou mais bombas em paralelo. A faixa de regulagem de uma bomba é de aproximadamente 4:1 o que quer dizer que a capacidade de uma

bomba pode ser diminuída por estrangulamento ou pela diminuição da velocidade em até 25% de sua capacidade.

Quando duas ou mais bombas estão operando em paralelo a curva combinada é obtida somando-se as capacidades individuais das duas bombas como uma função da altura de descarga, Figura 15.1. Nessa figura à esquerda está mostrado o esquema da instalação e à direita as curvas de operação.
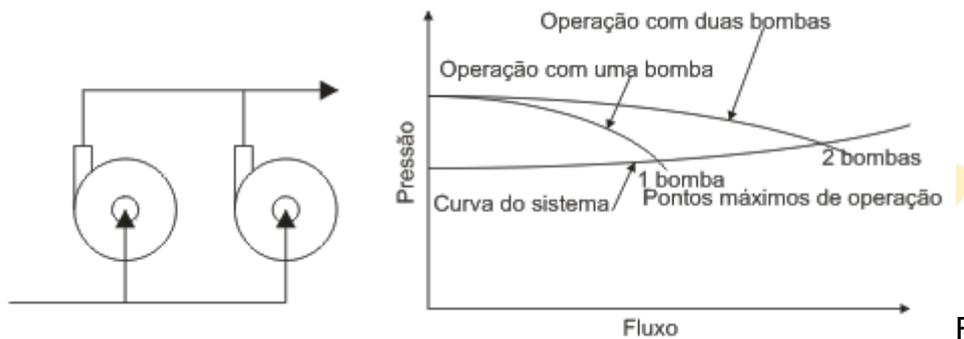
Figura 15.1

Nessas instalações a capacidade total das bombas é achada na intersecção do sistema de curvas com a curva combinada altura-capacidade como vemos na Figura 15.1.

Quando se necessita uma pressão mais alta pode-se instalar duas ou mais bombas em série ou usar uma bomba com múltiplos rotores ou ainda com um motor de duas velocidades. Neste caso o custo inicial pode ser mais baixo, mas as bombas múltiplas apresentam um custo de operação mais baixo, por isso o custo total durante a vida da instalação será mais baixo com bombas múltiplas.

Para pressões muito altas o uso de bombas com múltiplos rotores é a aplicação correta.

Vemos a instalação de duas bombas em série na Figura 15.2 abaixo.
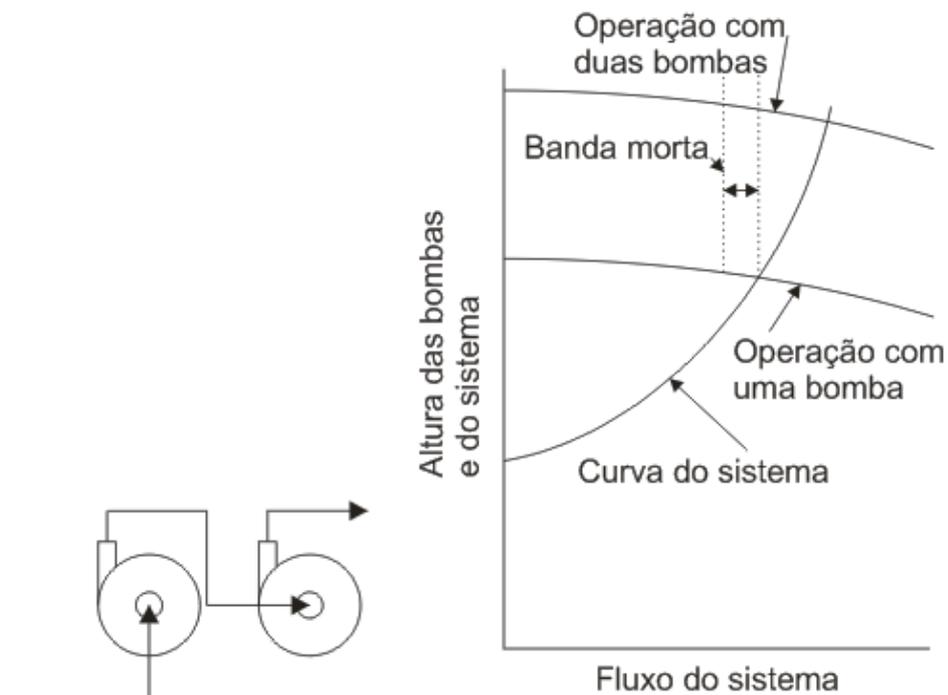
Figura 15.2

Neste caso as curvas são somadas como vemos na Figura 15.2. Em termos de economia de energia as bombas operando em série são mais eficientes quando operam na parte mais vertical das curvas.

Quando são usadas duas bombas de velocidade constante, a bomba elevadora de pressão pode ser ligada e desligada automaticamente conforme a pressão necessária. Neste caso pode ser usada uma faixa morta de pressão para prevenir um ciclo liga-desliga da bomba elevadora (a segunda bomba no esquema). A largura dessa banda é estimada de forma que se ela for muito estreita o número de ciclos de liga-desliga aumenta e se for muito larga a bomba elevadora opera mais que o necessário consumindo mais energia que o necessário.

16. Otimização da instalação de bombas

Um sistema de bombas pode ser otimizado para obter-se o custo mínimo e a segurança máxima de operação.

A configuração de otimização é conseguida por meio de instrumentação de controle bem estudado e um sistema de instalação de bombas bem estruturado com a utilização, se necessário, de motores de velocidade variável.

Os sistemas podem ser de bombas com motores de velocidade constante ou de velocidade variável e os controles podem ser por instrumentos transmissores de pressão, sensores variados e controle por PLC ou computadores dedicados.